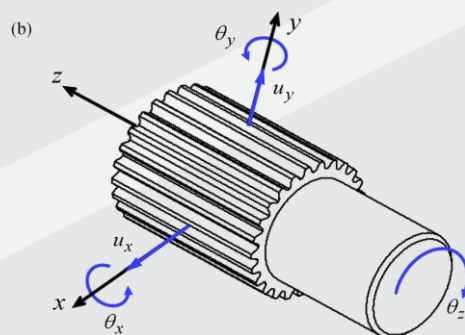
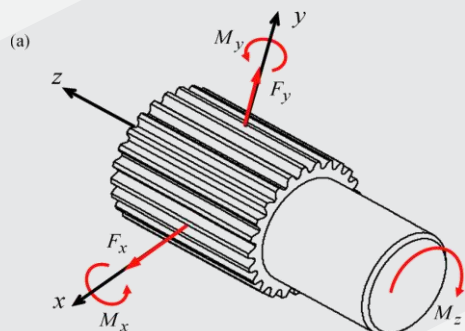




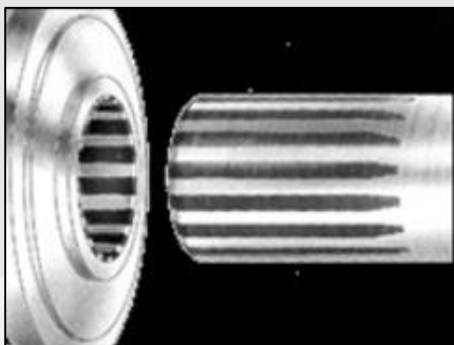
BET SHEMESH
ENGINES

Spline-Coupling - השפעת הקשיחות האפקטיבית על רוטורדינמיקה של צירים

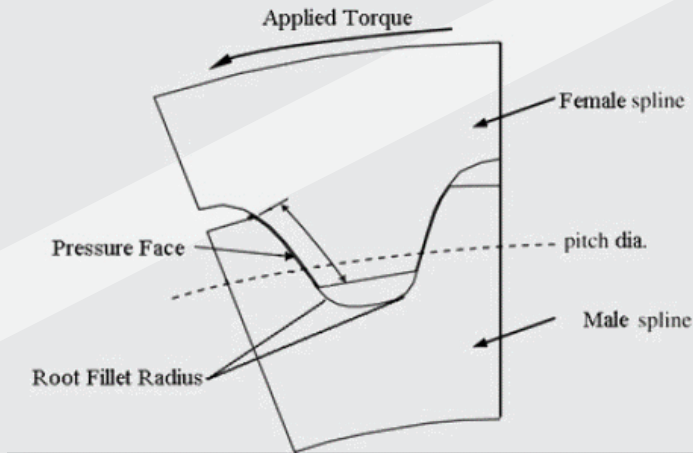
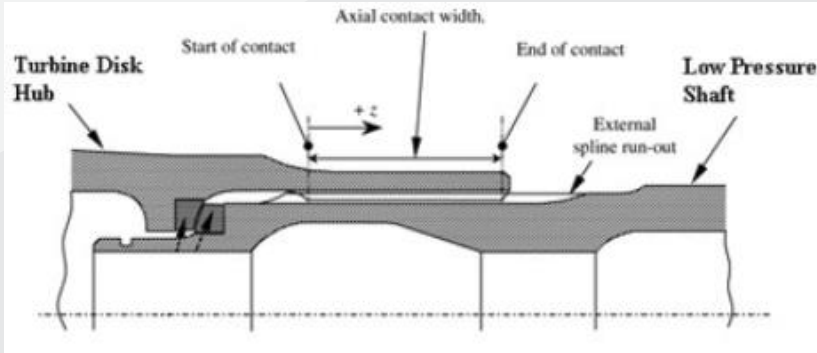




רקע - Spline Coupling



- מנגנון המבוסס על השתלבות שיניים מוערכות.
- להבדיל מחיבור שגם, הספליין מעביר מומנט בצורה אחידה על ההיקף
- משמש במערכות שבהן יש צורך בהעברת מומנטים גדולים, הסיבה לכך היא התפלגות הכוח לאורך השיניים ובכך המאמצים בשורש כל שן קטנים בהשוואה לחיבור שגם או אפילו Curving Coupling
- חיבור נפוץ במנועי סילון המהווה ממשק בין תתי המכלולים של מכלול הסב. (מכלול טורבינה, מכלול מניפה וכו..)
- חיבור בעל נטייה למרכז עצמי
- מקל על הליך ההרכבה מאחר וההשתלבות היא צרית



ניתן לראות חיבור בין תת מכלול טורבינה לבין מכלול מדחס לחץ נמוך

בזמן הפעלת העומס רק פאה אחת של השן חשופה לו.



הקשיחות האופיינית

$$\mathbf{K} = \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \Phi} = \hat{\mathbf{G}}^T \hat{\mathbf{C}}^{-1} \hat{\mathbf{G}}$$

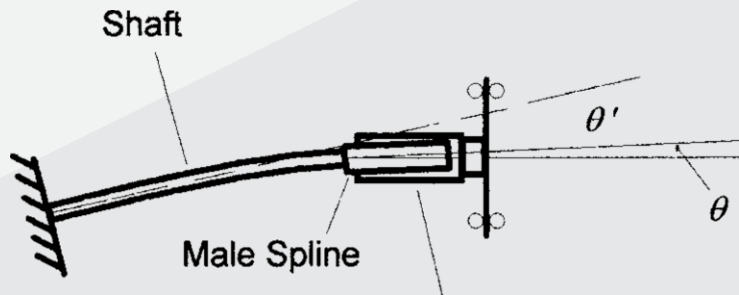
$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial u_x} & \frac{\partial F_x}{\partial u_y} & \frac{\partial F_x}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_x}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_x}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_y}{\partial u_x} & \frac{\partial F_y}{\partial u_y} & \frac{\partial F_y}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_y}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_y}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial M_x}{\partial u_x} & \frac{\partial M_x}{\partial u_y} & \frac{\partial M_x}{\partial \theta_x} & \frac{\partial M_x}{\partial \theta_y} & \frac{\partial M_x}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial M_y}{\partial u_x} & \frac{\partial M_y}{\partial u_y} & \frac{\partial M_y}{\partial \theta_x} & \frac{\partial M_y}{\partial \theta_y} & \frac{\partial M_y}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial M_z}{\partial u_x} & \frac{\partial M_z}{\partial u_y} & \frac{\partial M_z}{\partial \theta_x} & \frac{\partial M_z}{\partial \theta_y} & \frac{\partial M_z}{\partial \theta_z} \end{bmatrix}$$

- הקשיחות של חיבור Spline קשורה מצד אחד לתכונות החומר המיוצגים על ידי מטריצה C ומצד שני בגיאומטריה של השיניים הציוצגת על ידי מטריצה G כך שהקשיחות האפקטיבית מתקבלת לפי המניפולציה הנ"ל
- חישוב פרקטי של מטריצת הקשיחות יעשה על ידי חלוקת העומסים בהזזות היחסיות בין חלקי החיבור.



BET SHEMESH
ENGINES

חקר ספרות – השפעת המומנט ו על הקשיחות האפקטיבית



ניכר שהשפעת המומנט על

הקשיחות גדולה

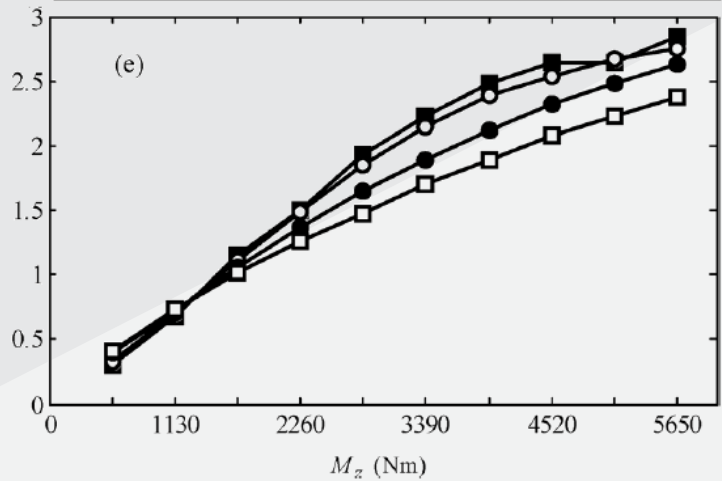
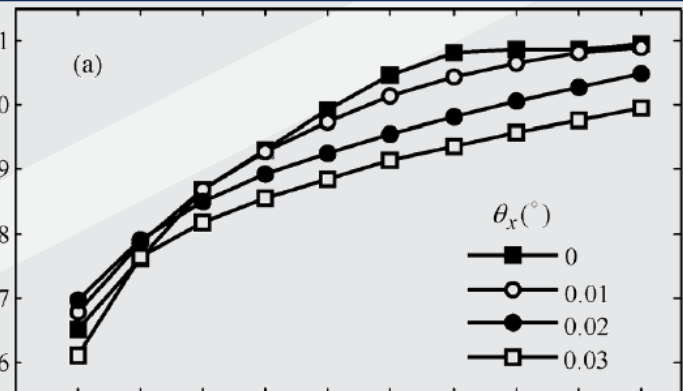
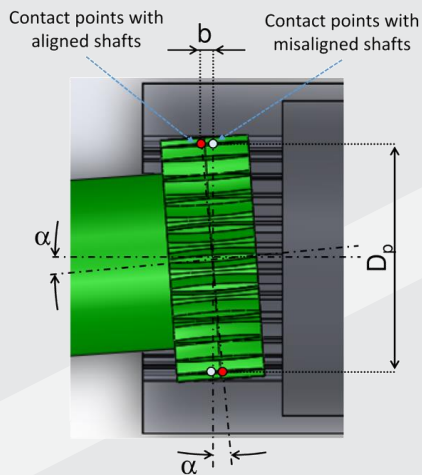
יחד עם זאת misalignment

בין חלקי הציר עלול לפגוע

קלות בקשיחות החיבור

לכפיפה . זאת מאחר והמגע

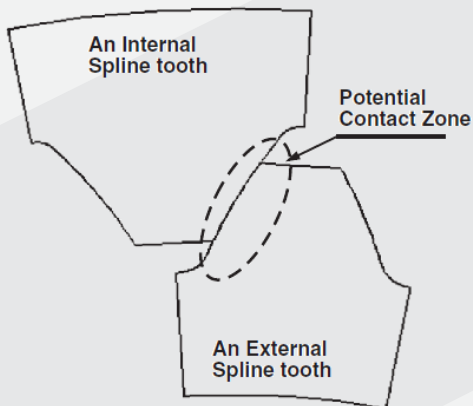
בין השיניים מתערער





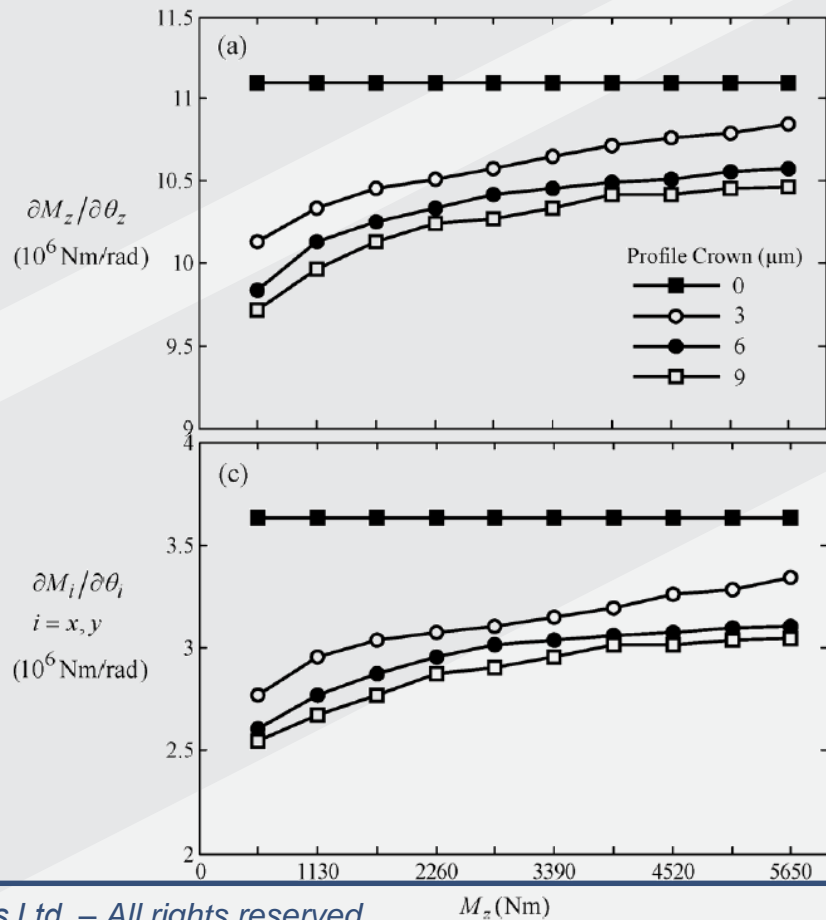
BET SHEMESH
ENGINES

חקר ספרות - השפעת המומנט ודפורמציה בפרופיל השיניים על הקשיחות האפקטיבית



ניתן לראות השפעה ניכרת בעיקר
בקשיחות לכפיפה כפי שמתואר בגרף
התחתון.

(J. Hong et al.)



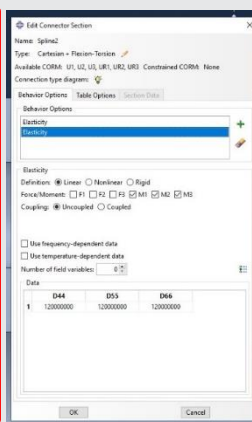
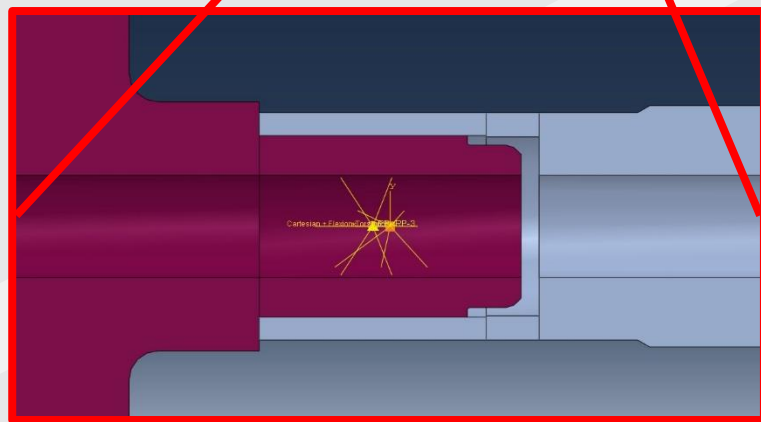


BET SHEMESH
ENGINES

בדיקת היתכנות לשימוש ב SPLINE עבור רוטור מנוע BS175A



כיום החיבור בין מכלול טורבינה למכלול
מדחס מבוצע באפיצות לחץ

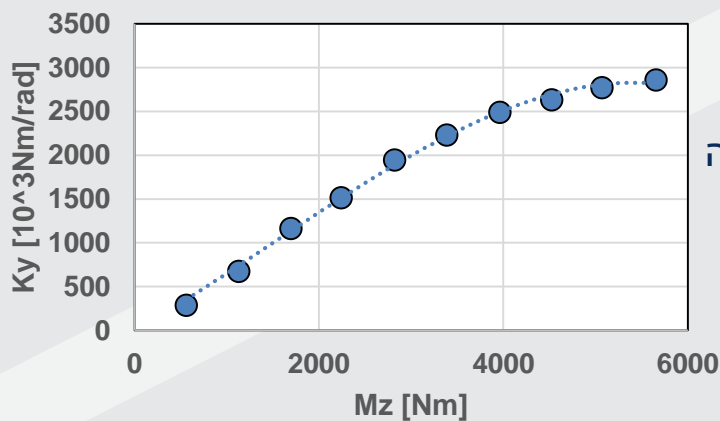


בסימולציית FE ב ABAQUS הוגדר
חיבור חלופי המאפשר שליטה על
הקשיחויות האפקטיביות של ה SPLINE
בוצעה אנליזה מודלית על מנת לבדוק
את השפעת הקשיחות האפקטיבית על
התדרים העצמיים של מכלול הסב

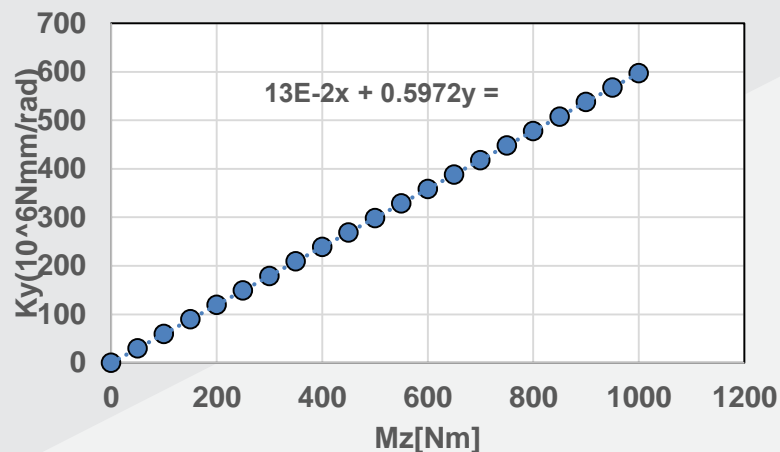
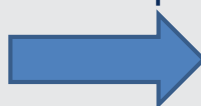


השפעת המומנט על קשיחות ה SPLINE

- תחילה נלקחו ערכים מהספרות של קשיחות כתלות במומנט המופעל על החיבור עבור גיאומטריה דומה
- על מנת להתאים את תנאי העומס למנועים בסדר גודל בינוני, בוצעה אקסטרפולציה לערכים נמוכים יותר



אקסטרפולציה

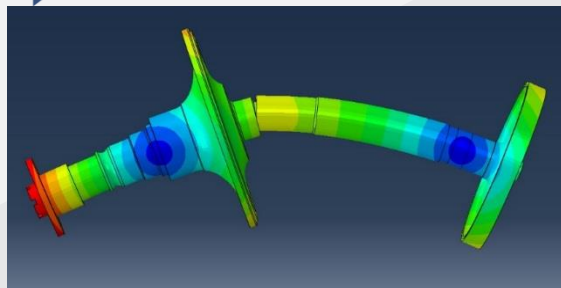




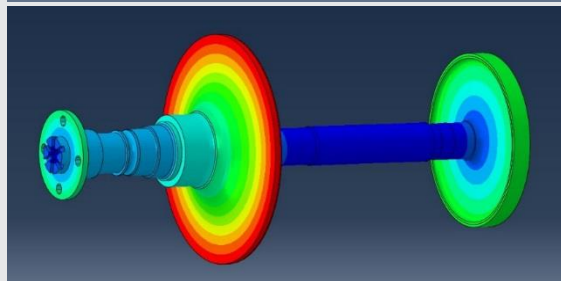
BET SHEMESH
ENGINES

מודים עצמיים וצורתם

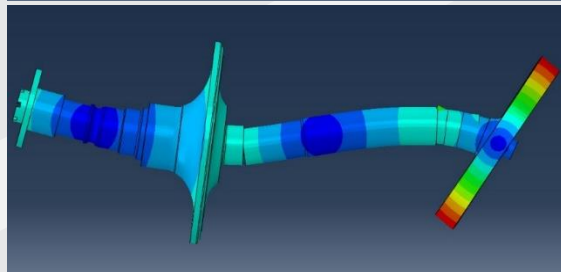
מודל אלמנטים סופיים של מכלול סב BS175A



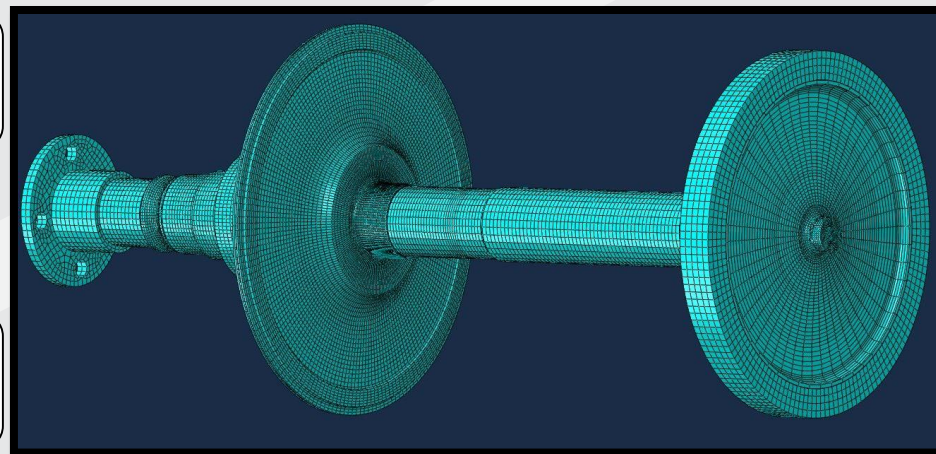
מוד כפיפה
ראשון:
564Hz



מוד פיתול ראשון:
839Hz



מוד כפיפה שני:
1210Hz



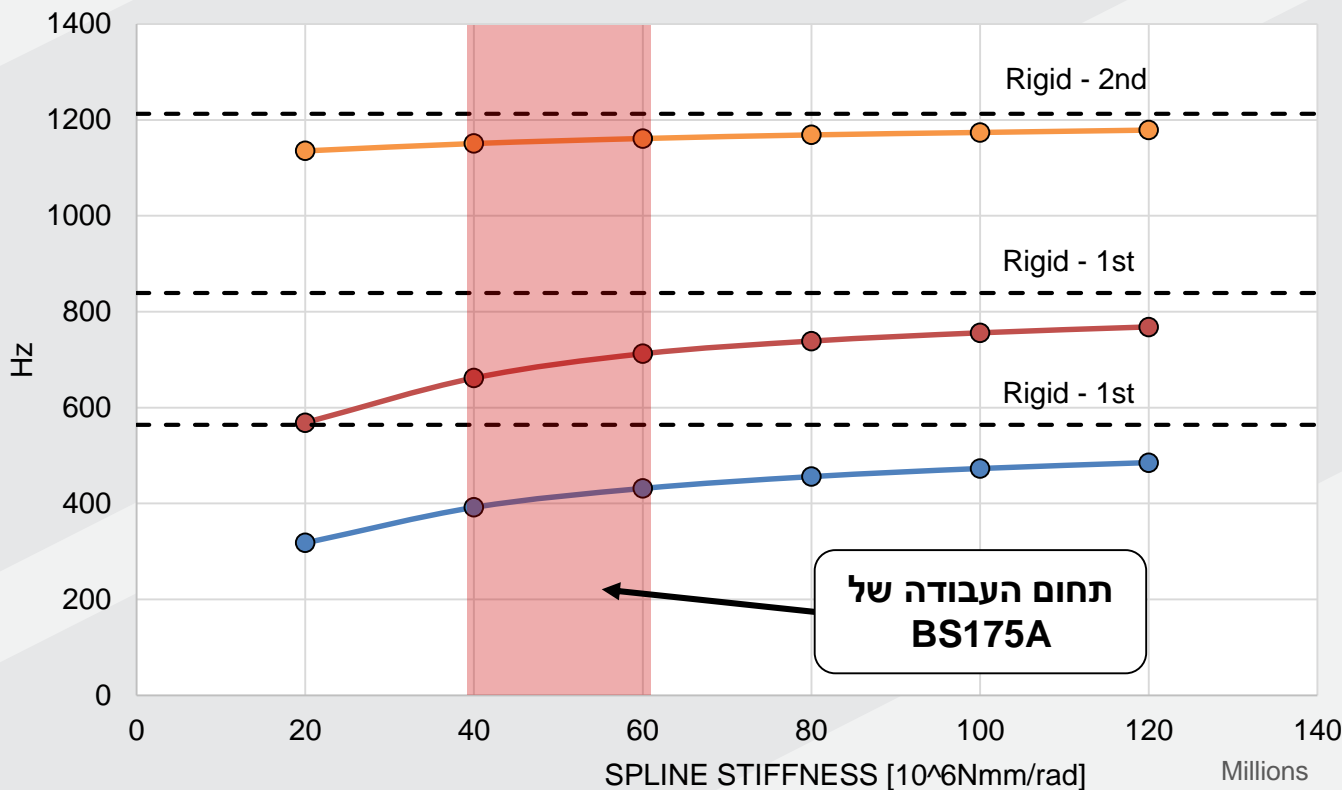
לצורך ההשוואה, בוצעה אנליזה מודלית עבור
חיבור קשיח כפי שקיים כיום.



BET SHEMESH
ENGINES

בחינת השפעת הקשיחות האפקטיבית ב Spline על התדרים העצמיים של מכלול סב מנוע BS175A

EIGEN MODES FREQ VS SPLINE STIFFNESS





- תחת עומסים נמוכים, הקשיחות האפקטיבית של ה SPLINE מושפעת מאוד מהמומנט המופעל עליו
- במנועי סילון קטנים עד בינוניים, היכן שהעומס על הציר אינו גבוה במיוחד, יש לקחת בחשבון את קשיחות ה SPLINE האפקטיבית כשיקול בבחירת חיבור מתאים בהקשר של דינמיקת מכלול הסב
- בעומסים גדולים ניתן בקרוב טוב להתייחס לחיבורי Spline Coupling כאל חיבור קשיח
- השימוש SPLINE COUPLING נפוץ בעיקר במערכות גדולות בהן מופעלים מומנטים גדולים מאחר והחיבור אינו משפיע באופן ניכר על דינמיקת הרוטור.
- לאחר בדיקה ראשונית של תחום המומנטים, יש לבצע חישוב אלמנטים סופיים מפורש של חיבור ה Spline על מנת לקבל את הקשיחויות האפקטיביות המדייקות.